

Morfofisiologia de genótipos de algodoeiro sob suplementação de piruvato via pré-embebição de sementes

Morphophysiology of cotton genotypes under pyruvate supplementation via seeds pre-soaking

Mirandy Dos Santos Dias¹, Francisco de Assis da Silva², Maria de Fátima Caetano da Silva³,
Vitória Régia do Nascimento Lima⁴, Andrezza Maia de Lima⁵, Pedro Dantas Fernandes⁶

RESUMO: O algodão é uma das principais culturas exploradas comercialmente, movimentando diversos setores da economia, com geração de emprego e renda. A embebição de sementes em substâncias orgânicas é uma alternativa promissora para os processos vitais das plantas. O piruvato, a exemplo, é um elemento crucial na respiração celular, influenciando o crescimento e desenvolvimento da cultura. Diante do exposto, objetivou-se avaliar a morfofisiologia de genótipos de algodoeiro submetidos à suplementação de piruvato via pré-embebição de sementes como reforço nos mecanismos energéticos das plantas. Os tratamentos resultaram da combinação de dois genótipos de algodoeiro (BRS Jade e Linhagem MT 2009-152) e cinco concentrações de piruvato de cálcio (0, 11, 22, 33 e 44 mM) aplicadas via pré-embebição das sementes, distribuídos em blocos casualizados, em esquema fatorial 2 x 5, com 4 repetições, perfazendo 40 unidades experimentais. Foram avaliados a emergência de plântulas, crescimento inicial das plantas, trocas gasosas e acúmulo de fitomassa. A pré-embebição de sementes em solução de piruvato de cálcio a partir da concentração de 11 mM aumenta a taxa de assimilação de CO₂, enquanto que, para variáveis de emergência, crescimento e acúmulo de massa seca varia entre 11 e 22 mM, reforçando os mecanismos energéticos de genótipos de algodoeiros BRS Jade e MT 2009-152. Evidentemente, mais estudos serão necessários para testar e validar o adoção desta tecnologia.

Palavras chave: *Gossypium hirsutum* L.; Ácido pirúvico; Trocas gasosas; Germinação.

ABSTRACT: Cotton is one of the main crops explored commercially, moving several sectors of the economy, generating employment and income. The soaking of seeds in organic substances is a promising alternative for the vital processes of plants. Pyruvate, for example, is a crucial element in cell respiration, influencing the growth and development of the culture. Given the above, the objective was to evaluate the morphophysiology of cotton genotypes submitted to pyruvate supplementation via seed pre-soaking as a reinforcement of the energy mechanisms of plants. The treatments resulted from the combination of two cotton genotypes (BRS Jade and Line MT 2009-152) and five concentrations of pyruvate (0, 11, 22, 33 and 44 mM) applied via seed pre-soaking, distributed in randomized blocks. In a 2 x 5 factorial scheme, with 4 replications, totaling 40 experimental units. Seedling emergence, initial plant growth, gas exchange and phytomass accumulation were evaluated. Pre-soaking seeds in a calcium pyruvate solution starting at a concentration of 11 mM increases the rate assimilation of CO₂, while, for emergency variables, growth and dry mass accumulation varies between 11 and 22 mM, reinforcing the energetic mechanisms of cotton genotypes BRS Jade and MT 2009-152. Evidently, more studies will be needed to test and validate the adoption of this technology.

Keywords: *Gossypium hirsutum* L.; Pyruvic acid; Gas exchange; Germination.

Autor correspondente: Mirandy Dos Santos Dias
Email: mirandysd@gmail.com

Recebido em: 20/01/2023
Aceito em: 11/12/2023

¹ Engenheiro Agrônomo (CECA/UFAL). Doutorando em Engenharia Agrícola (Irrigação e Drenagem) na Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Atua principalmente nos temas: irrigação e drenagem, fisiologia vegetal e manejo e conservação do solo e da água, com ênfase em estresse biótico e abiótico.

² Engenheiro Agrônomo (CCTA/UFPG). Doutor em Engenharia Agrícola (Área de concentração Irrigação e Drenagem) pela CTRN/UFPG. Atualmente é bolsista de Pós-doutorado Júnior do CNPq. Atua principalmente nos temas: irrigação e drenagem, fisiologia vegetal e manejo e conservação do solo e da água, com ênfase em estresse biótico e abiótico.

³ Doutoranda em Engenharia Agrícola pela UFCG. Mestre em Ciências Agrárias pela UEPB/Embrapa Algodão (2018). Graduada em Química (Licenciatura) pela Universidade Federal da Paraíba - UFPB (2010). E em Ciências Biológicas (Licenciatura) pela Universidade Estadual da Paraíba - UEPB (2016). Atuação na área de Irrigação e Drenagem, Melhoramento Genético de Plantas e Biotecnologia.

⁴ Graduação em Agronomia pela Universidade Federal de Campina Grande - Campus Pombal. Bolsista de mestrado da Universidade Federal de Campina Grande - PB, na área de Irrigação e Drenagem.

⁵ Agroecóloga pela UEPB. Doutoranda em Engenharia Agrícola (Irrigação e Drenagem) na Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Integrou o Centro Vocacional Tecnológico de Agroecologia e Produção Orgânica: Agrobiodiversidade do Semiárido na modalidade de Apoio Técnico em Extensão no País/ATP-A.

⁶ Engenheiro Agrônomo pela Escola de Agronomia do Nordeste. Doutor em Solos e Nutrição de Plantas pela ESALQ/USP. Pós-doutorado na University of Arizona, Tucson/AZ, USA em fisiologia da produção. Atualmente é bolsista de produtividade do CNPq e professor no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da UFCG.

INTRODUÇÃO

A cultura do algodão (*Gossypium hirsutum* L.) é importante socioeconomicamente, por envolver a agricultura familiar e movimentar setores como a agroindústria e indústria têxtil, gerando emprego e renda (ZONTA et al., 2016; ALVES et al., 2019).

Todos os anos, uma média de 35 milhões de hectares são plantadas em todo o planeta, envolvendo mais de 350 milhões de pessoas na cadeia produtiva do algodoeiro, movimentando, anualmente, cerca de US\$ 12 bilhões (ABRAPA, 2023). Nesse contexto, o Brasil se destaca como um dos principais produtores, exportadores de fibra e um dos maiores consumidores de algodão em pluma, garantido, assim, lugar privilegiado no cenário internacional (ABRAPA, 2023).

Na busca por lavouras mais produtivas, o emprego de novas tecnologias, como a utilização de substâncias orgânicas (hormônios vegetais, micronutrientes e aminoácidos) no tratamento de sementes vem ganhando importância na agricultura. Tais substâncias, podem trazer benefícios para as culturas, quando aplicados via semente, aumentando a germinação e o vigor das sementes e, conseqüentemente, favorecendo o crescimento e desenvolvimento, bem como aumento na produção agrícola.

O piruvato é um dos produtos que podem ser utilizados, pois no metabolismo das plantas, está presente nos processos de respiração e produção de ATP, vitais para o desenvolvimento vegetal. A aplicação exógena de piruvato pode favorecer os mecanismos energéticos no processo de germinação, que não precisará ativar os processos envolvidos na glicólise, pois as moléculas de piruvato estão disponíveis, reforçando o substrato para a produção de ATP. Proveniente da glicólise, o piruvato é crucial no metabolismo do Ciclo de Krebs e na cadeia respiratória, resultando na produção de moléculas de ATP (TAIZ et al., 2017).

As pesquisas com piruvato, começaram nos últimos anos, em trabalho realizado na China, com resultados satisfatórios em tecidos de *Arabidopsis thaliana* incubados em soluções de piruvato (SHEN et al., 2017). No Brasil, Barbosa et al. (2021) avaliaram o efeito do piruvato via foliar em duas cultivares de amendoim (IAC Caiapó e BR1) submetidas à restrição hídrica. Constataram que a aplicação de 50 mM de piruvato aliviou os efeitos da restrição hídrica sobre a cultivar IAC Caiapó, genótipo exigente em água, e restaurou as enzimas antioxidantes SOD (45%), CAT (129%) e APX (60%) na cv. BR1 que é tolerante à seca. Silva et al. (2022), ao avaliarem o efeito da aplicação foliar de piruvato, como mitigador do estresse salino, sobre a morfofisiologia do maracujazeiro cv. Redondo Amarelo, em fase de mudas, observaram que a aplicação exógena de 50 mM piruvato atenuou os efeitos do estresse salino sobre as trocas gasosas e massa seca das raízes.

Considerando o interesse da indústria de sementes em tecnologias inovadoras que possam contribuir substancialmente para o rendimento e economia, além da sustentabilidade ambiental do sistema agrícola, tornam-se necessários estudos sobre aplicação exógena de piruvato como alternativa para melhorar a qualidade, crescimento e desenvolvimento das plantas. Assim, objetivou-se avaliar a morfofisiologia em genótipos de algodoeiro submetido à suplementação de piruvato via pré-embebição de sementes como reforço nos mecanismos energéticos.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no período de junho a julho de 2019, em casa de vegetação da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola, situada no Centro de Tecnologia e Recursos Naturais (CTRN) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), com coordenadas geográficas 07° 15'18" S, 35° 52'

28'' O e altitude de 550 m. A temperatura média durante o experimento foi de 23 °C e umidade relativa do ar média de 78%.

Os tratamentos resultaram da combinação de dois genótipos de algodão (BRS Jade e Linhagem MT 2009-152) e cinco concentrações de piruvato de cálcio (0, 11, 22, 33 e 44 mM), distribuídos em delineamento de blocos casualizados em esquema fatorial 2 x 5, com 4 repetições, perfazendo 40 unidades experimentais, compostas por dois lisímetros, tendo duas plantas em cada recipiente.

Foram utilizados recipientes plásticos com capacidade de 800 mL, com dreno acoplado na região inferior do recipiente para permitir a livre drenagem do lixiviado. No interior do lisímetro foi envolvida uma manta agrotêxtil não tecida para evitar a obstrução do dreno. Em seguida, foram utilizados 800 g de um solo franco arenoso, cujos atributos químicos, determinados em laboratório, conforme metodologia descrita por Teixeira et al. (2017), encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1. Atributos químicos do solo, determinados no Laboratório de Irrigação e Salinidade

pH	P	K	Ca	Na	Mg	Al	H	SB	CTC	v	m	MO
	mg dm ⁻³				cmolc dm ⁻³					%		mg dm ⁻³
5,58	115	0,26	2,98	1,33	1,17	0,3	4,7	5,7	10,5	54,8	0,55	1,62

CTC a pH 7,0; Método EMBRAPA; Extração: Água (pH); Mehlich (P, K, Na); KCl 1N (Ca, Mg e Al); Acetato de Cálcio pH 7,0 (H + Al).

Na definição das concentrações, baseou-se em estudos desenvolvidos por Shen et al. (2017), em *Arabidopsis thaliana*, trabalho encontrado na literatura versando sobre aplicação exógena de piruvato. Realizou-se ajuste na concentração do piruvato, haja vista que a pesquisa original foi em amostra de folhas incubadas em solução de piruvato nas concentrações de 10, 100 e 1000 µM numa espécie não cultivada (*A. thaliana*).

A fonte de piruvato utilizada no experimento foi o piruvato de cálcio (American Pharm Supplements LLC), cujas concentrações para a pré-embebição das sementes, foram preparadas a partir da dissolução do produto em água destilada a uma temperatura de 30 °C. Em seguida, as sementes foram imersas em 50 mL da solução por um período de 12 h e acondicionadas em uma caixa protegida com papel alumínio para manter a solução na temperatura desejada. As sementes relativas ao tratamento controle (0 mM de piruvato de cálcio) foram embebidas apenas em água destilada. Em seguida, foram semeadas cinco sementes a 1,5 cm de profundidade distribuídas de forma equidistante na superfície do recipiente. Decorridos 5 dias após a emergência (DAE), procedeu-se o desbaste, deixando-se duas plantas por recipiente.

As irrigações foram realizadas, diariamente, de forma manual, com aplicação, em cada recipiente do volume de água necessário para manter a umidade do solo em nível equivalente ao da capacidade de campo.

As adubações foram realizadas com base em recomendações para ensaios em vasos, nas quantidades de 100, 300 e 150 mg dm⁻³ de solo de N, P e K, respectivamente, na forma de ureia, superfosfato simples e cloreto de potássio (NOVAIS et al., 1991).

O efeito dos tratamentos foi avaliado através da porcentagem de emergência (PE -%), índice de velocidade de emergência (IVE), tempo médio de emergência (TME - dias) e velocidade média de emergência (VME - plântulas por dia) (LABOURIAU, 1983; MAGUIRE, 1962).

Aos 30 dias após a emergência (DAE), foram mensurados a altura da planta (AP), número de folhas (NF) e diâmetro do caule (DC). Para os parâmetros fisiológicos, foi avaliado a condutância estomática (gs), concentração interna de CO₂ (Ci), taxa de assimilação de CO₂ (A) e transpiração (E), determinadas no período compreendido entre 7 e 9 horas manhã, na terceira folha do ápice para a base, utilizando um

aparelho portátil de trocas gasosas (Infra Red Gas Analyser - IRGA, marca ADC BioScientific Ltd, modelo LC-Pro), sob condições naturais de temperatura do ar e concentração de CO₂, utilizando-se fonte artificial de radiação de 1200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

Após as avaliações de crescimento e de trocas gasosas (30 DAE), as plantas de cada tratamento foram colhidas rente ao solo, colocadas em sacos de papel, identificadas e levadas para secar em estufa com circulação forçada de ar, a 65 °C durante 72 horas. Após esse período foram pesadas, utilizando balança digital, onde obteve a massa seca da parte aérea (MSPA).

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade (CALLEGARI-JACQUES, 2003), e posteriormente submetidos à análise de variância. Quando significativos, realizou-se análise de regressão polinomial linear e quadrática para as concentrações de piruvato e para genótipos o teste F foi conclusivo, utilizando o software estatístico SISVAR (FERREIRA, 2019).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Considerando ser mais importante discutir o efeito da interação, quando significativa, constata-se nos resultados da análise de variância (Tabela 2) efeito da interação genótipo (G) x concentração de piruvato (CP) sobre o índice de velocidade de emergência (IVE), tempo médio de emergência (TME), velocidade média de emergência (VME), altura de planta (AP), diâmetro do caule (DC), massa seca da parte aérea (MSPA), concentração interna de CO₂ (Ci) e taxa de assimilação de CO₂ (A). Enquanto que para a porcentagem de emergência (PE), número de folhas (NF) e transpiração (E) de plantas de algodoeiro foram influenciados de forma isolada para as concentrações de piruvato. Em relação a condutância estomática (gs), foi observado diferença significativa para genótipos quanto para aplicação de piruvato (Tabela 2).

Tabela 2. Porcentagem de emergência (PE), índice de velocidade de emergência (IVE), tempo médio de emergência (TME), velocidade média de emergência (VME), número de folhas (NF), altura de planta (AP), diâmetro do caule (DC), massa seca da parte aérea (MSPA), condutância estomática (gs), transpiração (E), concentração interna de CO₂ (Ci) e taxa de assimilação de CO₂ (A) de plântulas de algodão sob suplementação com piruvato (CP) via pré-embebição das sementes

Fonte de variação	GL	Quadrados médios			
		PE	IVE	TME	VME
Genótipos (G)	1	2,450 ^{ns}	0,071 ^{ns}	1,162 ^{ns}	0,011 ^{5**}
C. piruvato (CP)	4	1322,331 ^{**}	0,855 ^{**}	2,763 [*]	0,0042 ^{**}
G x CP	4	392,125 ^{ns}	0,110 ^{**}	2,615 [*]	0,0071 ^{**}
Bloco	3	91,550 ^{ns}	0,022 ^{ns}	1,006 ^{ns}	0,0005 ^{ns}
Resíduo	27	211,959	0,021	0,902	0,0004
CV (%)	-	18,88	13,85	18,58	10,39
		NF	AP	DC	MSPA
Genótipos (G)	1	1,395 ^{ns}	7,404 ^{**}	2,052 ^{**}	0,526 ^{**}
C. piruvato (CP)	4	4,266 ^{**}	30,866 ^{**}	0,706 ^{**}	1,109 ^{**}
G x CP	4	0,801 ^{ns}	4,270 ^{**}	0,324 ^{**}	0,341 ^{**}
Bloco	3	1,240 ^{ns}	0,568 ^{ns}	0,042 ^{ns}	0,002 ^{ns}
Resíduo	27	0,755	0,241	0,019	0,003
CV (%)	-	7,15	3,93	4,85	5,53

(Conclusão)

Fonte de variação	GL	Quadrados médios			
		PE	IVE	TME	VME
		gs	E	Ci	A
Genótipos (G)	1	0,0078**	0,033 ^{ns}	122,50 ^{ns}	11,427**
C. piruvato (CP)	4	0,0078**	0,202*	397,06 ^{ns}	13,577**
G x CP	4	0,0011 ^{ns}	0,020 ^{ns}	2527,68**	5,538**
Bloco	3	0,0062**	0,723**	414,15 ^{ns}	1,779 ^{ns}
Resíduo	27	0,001	0,077	313,98	0,902
CV (%)		18,49	19,30	6,04	13,39

CV- coeficiente de variação; GL- graus de liberdade; ns - não significativo; ** e * significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F. Fonte: elaborada pelos autores

Verifica-se por meio da equação de regressão (Figura 1A), que a máxima porcentagem de emergência foi 87,6% na concentração estimada de 11,82 mM de piruvato de cálcio. Os maiores IVE (1,32 e 1,31) foram obtidos na concentração estimada de 14 e 9,1 mM de piruvato para BRS Jade e a Linhagem MT 2009-152, respectivamente (Figura 1B).

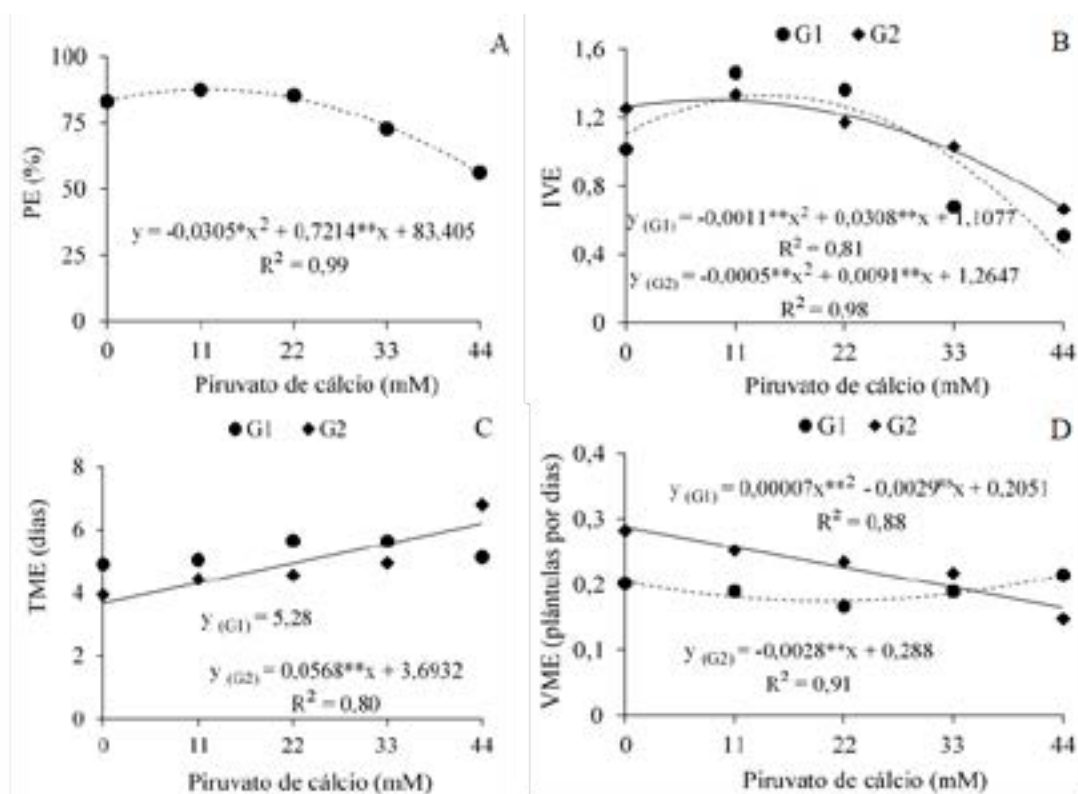


Figura 1. (A) porcentagem de emergência (PE) de plântulas de algodão sob pré-embebição de sementes em solução de piruvato. Em 1B, C e D interação G x CP para índice de velocidade de emergência (IVE) e tempo médio de emergência (TME) velocidade média de emergência (VME). G1- BRS Jade, G2 – Linhagem MT 2009-152. ** e * significativo a 1 e 5% respectivamente

O TME (Figura 1C) foi crescente em decorrência do aumento das concentrações de piruvato de cálcio para a linhagem MT 2009-152, partindo de 4,0 para 7,0 dias, quando relacionada a concentração 0 e 44 mM, com aumento 67,6%. A média do TME para a BRS Jade foi 6 dias. A menor VME (0,18 plântulas

por dia) para a BRS Jade foi obtida na concentração estimada de 20,71 mM de piruvato de cálcio, enquanto que na Linhagem MT 2009-152 a equação de regressão foi linear decrescente, com redução de 41,6% na concentração de 44 mM, quando comparado com o tratamento sem aplicação de piruvato de cálcio (Figura 1D).

A pré-embebição das sementes proporciona uma melhor expressão das variáveis de germinação e tem sido uma das tecnologias estudadas em várias espécies para facilitar o processo de germinação, acelerando e uniformizando a emergência das plântulas (SANTOS et al., 2011; RABBANI, et al., 2013). Além disso, é um processo importante no ciclo de vida da planta e determina se a germinação da semente e o crescimento da planta serão bem-sucedidos ou não (RIBEIRO et al., 2015).

No algodoeiro, Rezende et al. (2017) ao estudarem os efeitos da aplicação de bioestimulantes em sementes, concluíram que a dose de 6 mL por quilo de sementes, proporcionou maior porcentagem de plântulas. Bem como Junqueira et al. (2017) ao avaliarem os efeitos do uso de Biozyme e Stimulate na qualidade fisiológica de plântulas de girassol, constaram que a pré-embebição das sementes em Biozyme (12,5 mL kg⁻¹ de semente) foi eficiente na germinação, massa fresca e massa seca de plântulas de girassol.

Bezerra et al. (2006) ao avaliarem o efeito da ação conjunta da pré-embebição e da aplicação de ácido giberélico na germinação de sementes de macela (*Egletes viscosa* L.), constataram que a pré-embebição das sementes em substrato com soluções aquosas de ácido giberélico (100 ou 300 ppm) aumentou a porcentagem e velocidade de germinação.

Embora não tenha sido registrados trabalhos com piruvato envolvendo sua utilização na pré-embebição das sementes. Os trabalhos encontrados na literatura com essa substância foram realizados apenas via incubação de folhas de *Arabidopsis* (SHEN et al., 2017) e via foliar em plantas de amendoim submetidas à restrição hídrica (BARBOSA et al., 2021), com resultados promissores quanto a sua utilização.

A pré-embebição de sementes em solução de piruvato de cálcio, notadamente nas concentrações 22, 33 e 44 mM reduziram a PE, IVE, VME e aumentaram o TME de plântulas de algodoeiro. O aumento nas variáveis de germinação abaixo da concentração de 22 mM parece ser um requisito para estabelecer condições adequadas para a germinação e o crescimento das plantas de algodão. Em estudo conduzido por Xiao et al. (2019), também, constataram que baixas concentrações de melatonina (10-50 µM) tiveram um efeito positivo na germinação de sementes de algodão em comparação com altas concentrações (100-200 µM), das quais 20 µM de melatonina foi o tratamento ideal.

Nos parâmetros fisiológicos, observa-se efeito positivo da suplementação de piruvato no algodoeiro. A condutância estomática (gs) foi significativa de forma isolada para genótipos e para as concentrações de piruvato. A maior abertura estomática (Figura 2A) foi observada nas plantas da Linhagem MT 2009-152 (0,186 mol m⁻² s⁻¹) em relação a BRS Jade (0,158 mol m⁻² s⁻¹). Na Figura 2B, observa-se aumento de 60,2% na gs, à medida que foi elevada as concentrações de piruvato.

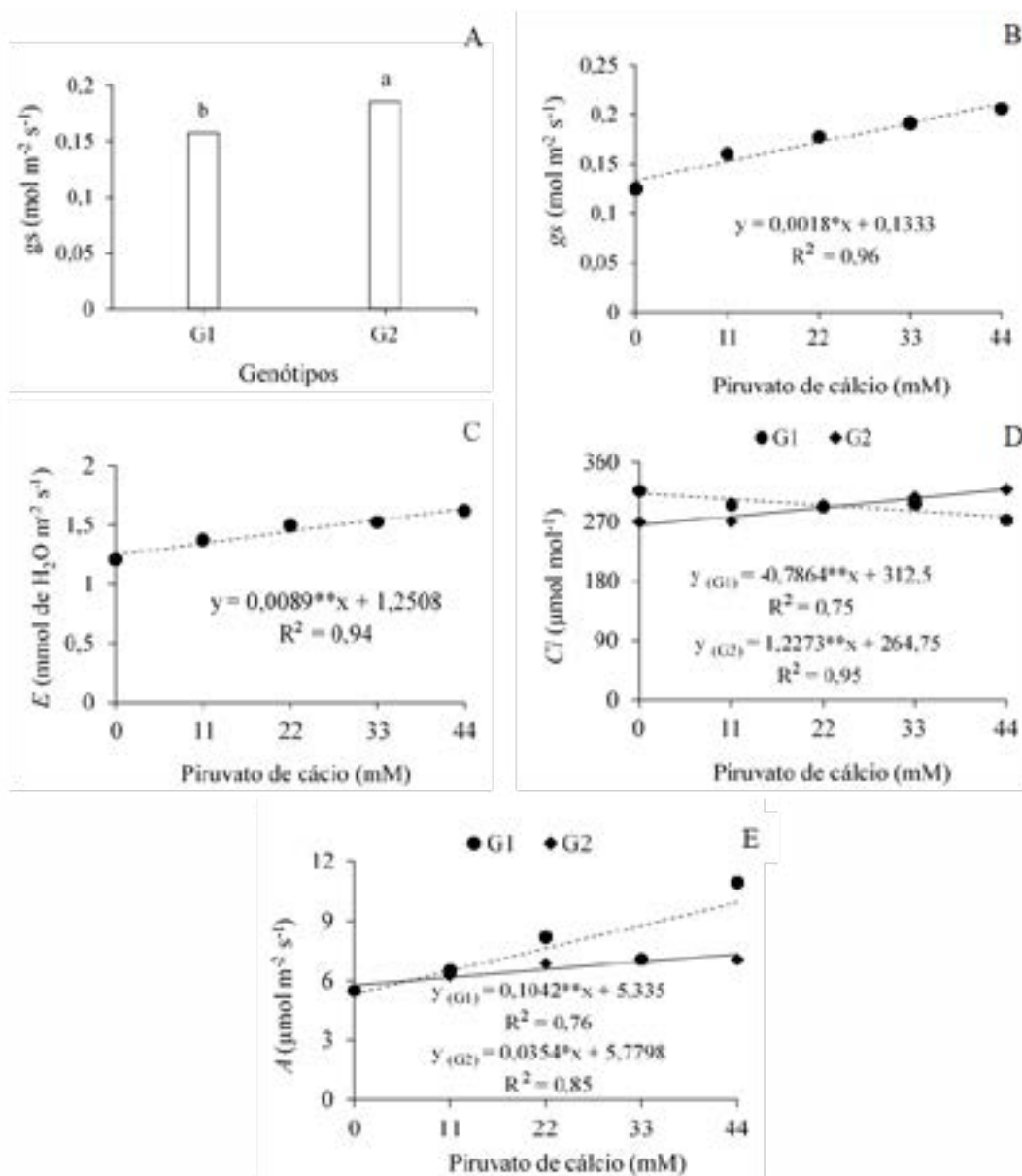


Figura 2. (A) condutância estomática (gs) de plantas de algodoeiro. (B e C) condutância estomática e transpiração (E) de plantas de algodoeiro sob suplementação de piruvato. (D) concentração interna de carbono (Ci) e (E) taxa de assimilação de CO₂ (A) correspondente a interação G x CP. Na Figura 2A, letras minúsculas iguais em cada genótipo são indicativos de não haver diferença entre eles (teste F $p < 0,05$). G1- BRS Jade, G2 – Linhagem MT 2009-152. ** e * significativo a 1 e 5% respectivamente

Tendência similar a gs, foi observada para a transpiração, com aumento de 31,2% nas plantas suplementadas com 44 mM de piruvato cálcio em comparação ao tratamento sem suplementação de piruvato (Figura 2C).

À medida que se elevou as concentrações de piruvato, a Ci reduziu 11% para a BRS Jade e aumentou 20,3% nas plantas da Linhagem MT 2009-152 (Figura 2D). Para a taxa de assimilação de CO₂, (Figura 2E), o modelo que melhor se ajustou ao conjunto de dados médios foi o linear, com aumento de 86% na BRS Jade e 26,9% para Linhagem MT 2009-152 ao comparar a suplementação com 0 e 44 mM de piruvato de cálcio.

Tais resultados, demonstram que os materiais de algodoeiro estudados tem características diferentes ao serem suplementados com piruvato. A BRS Jade, quando suplementada com piruvato, diminuiu o acúmulo de carbono na célula, demonstrando que o carbono que entrava na célula estava sendo metabolizado, corroborando com o aumento da taxa de assimilação de CO₂ e a Linhagem MT 2009-152, aumentou o

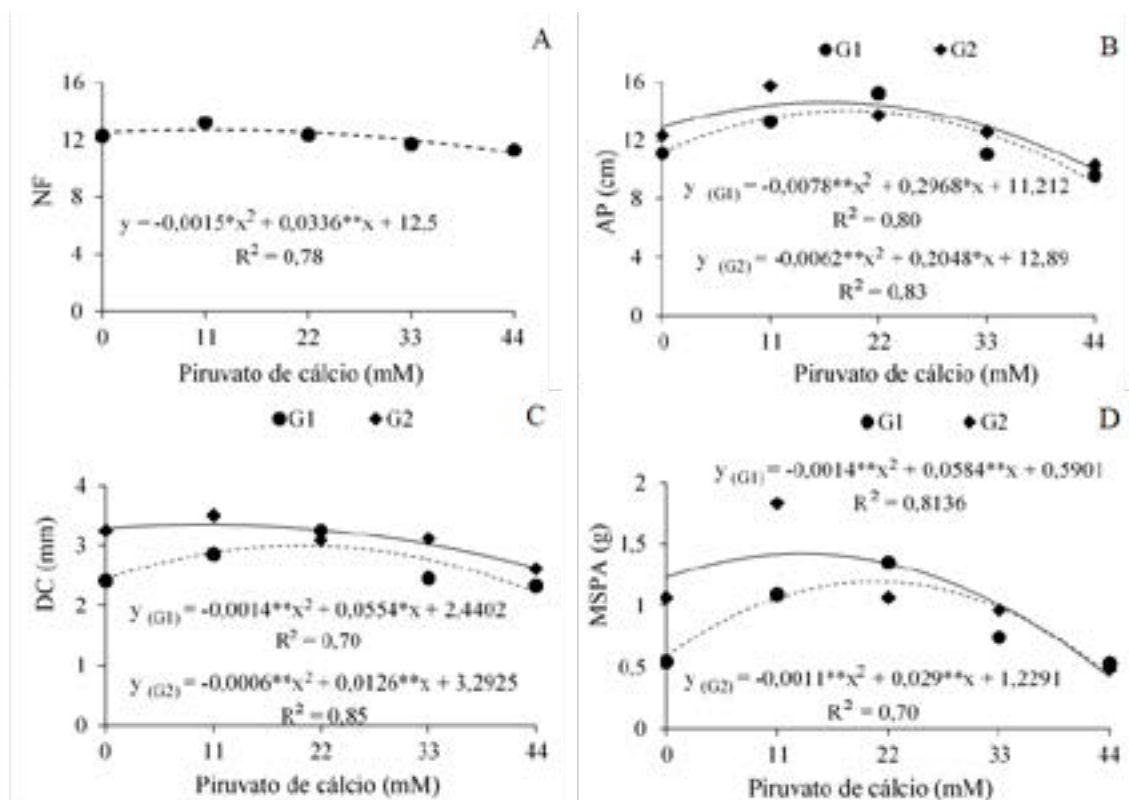
acúmulo de carbono na célula, porém, não houve redução na produção de fotoassimilados.

Esses resultados são relevantes, pois à medida que aumentou a condutância estomática e a transpiração, houve aumento na taxa fotossintética, constatando-se relação direta entre o movimento estomático e os outros parâmetros de trocas gasosas (A, Ci e E), uma vez que plantas de comportamento C3, como o algodoeiro, os estômatos são os responsáveis direto pela regulação das trocas gasosas, de modo que seu fechamento reduz a taxa transpiratória comprometendo a taxa fotossintética (SÁ et al., 2015).

Em geral, é evidente o efeito benéfico do piruvato. No metabolismo celular, o piruvato é originado da oxidação da molécula de glicose, no fenômeno denominado de glicólise, em que são formadas duas moléculas de piruvato (TAIZ et al., 2017). Possivelmente com a suplementação desse produto via pré-embebição das sementes, moléculas de piruvato ficaram à disposição das células para a produção de ATP, favorecendo assim as trocas gasosas.

Apesar do piruvato ainda possuir funções pouco conhecidas quando aplicado de forma exógena na planta. Em estudos desenvolvidos por Shen et al. (2017) via incubação de folhas de *Arabidopsis* em solução de piruvato; e Barbosa et al. (2021) ao aplicarem o piruvato via foliar em plantas de amendoim submetidas à restrição hídrica, constataram efeito benéfico do piruvato. Bem como, Silva et al. (2022), ao avaliarem o efeito da aplicação foliar de piruvato, como mitigador do estresse salino, sobre a morfofisiologia do maracujazeiro cv. Redondo Amarelo, em fase de mudas, observaram que a aplicação exógena de 50 mM piruvato atenuou os efeitos do estresse salino sobre as trocas gasosas e massa seca das raízes.

Em relação as variáveis de crescimento, observa-se o modelo que melhor se ajustou ao conjunto de dados médios para o número de folhas (NF) foi o quadrático, obtendo um ajuste de 78% (Figura 3A). Essas informações implicam que o aumento no NF estão relacionadas com a suplementação de piruvato de cálcio.



A concentração máxima estimada para o NF foi 11,2 mM, obtendo média de 12,69 folhas por planta. Aos 30 DAE quando do desdobramento da interação G x CP, a máxima altura de planta observada (Figura 3B), foi 14,03 cm para BRS Jade e 14,58 cm para a Linhagem MT 2009-152, obtidas nas concentrações estimadas de 19,03 e 16,51 mM de piruvato, respectivamente. O máximo diâmetro de caule encontrado para BRS Jade e Linhagem MT 2009-152 foram 2,98 e 3,35 mm, nas concentrações estimadas em 19,79 e 10,5 mM de piruvato de cálcio, respectivamente (Figura 3C).

O maior acúmulo de massa seca da parte aérea para BRS Jade foi 1,20 gramas nas concentrações de 20,85 mM de piruvato. Enquanto que a linhagem MT 2009-152 obteve 1,42 gramas por planta nas concentrações estimadas de 13,18 mM de piruvato de cálcio. Quando comparado tais concentrações em relação ao tratamento sem piruvato de cálcio (0 mM), houve incremento de 111 e 34% para a BRS Jade e Linhagem MT 2009-152, respectivamente (Figura 3D). Vendruscolo et al. (2015) ao avaliarem o efeito do biorregulador Stimulate, aplicado via semente, também verificaram respostas contrárias entre as cultivares estudadas (FMT 705 e FMT 701). Os autores constataram que a cultivar FMT 701 apresentou decréscimo de 75,7% na massa seca da parte aérea na concentração de 21,7 mL 0,5 kg⁻¹, e a cultivar FMT 705 respondeu de forma inversa, com aumento de 43,3% quando se utiliza a concentração de 25 mL 0,5 kg⁻¹ de sementes.

Tais resultados, provavelmente remete à absorção do piruvato não ter ocorrido igualmente pelas sementes das duas cultivares, isto pode estar relacionado a fatores intrínsecos aos materiais genéticos estudados. Além disso, no estudo conduzido com a utilização de um biorregulador, Vendruscolo et al. (2015) cita que, caso venha a ocorrer absorção parcial em diferentes concentrações pelas cultivares, podem ocorrer respostas diferenciadas. Fato esse, que provavelmente ocorreu com a aplicação do piruvato no presente estudo.

Na análise conjunta das variáveis de crescimento e acúmulo de massa, no contexto da suplementação com piruvato via pré-embebição, nota-se que concentrações superiores a máxima estimada podem acarretar redução na emissão de folhas, crescimento em altura e caulinar, conseqüentemente na massa seca da parte aérea das plantas de algodão. No entanto, a suplementação de piruvato até a concentração estimada garante condições de crescimento em aporte, possivelmente para assegurar um maior arcabouço, para folhas e frutos em etapas posteriores de crescimento.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pré-embebição de sementes em solução de piruvato de cálcio a partir da concentração de 11 mM aumenta a taxa de assimilação de CO₂, enquanto que, para variáveis de emergência, crescimento e acúmulo de massa seca varia ente 11 e 22 mM, reforçando os mecanismos energéticos de genótipos de algodoeiros BRS Jade e MT 2009-152. Evidentemente, mais estudos serão necessários para testar e validar o adoção desta tecnologia.

5 AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

REFERÊNCIAS

- ABRAPA - Associação brasileira de produtores de algodão. Números do algodão: o algodão no Brasil. Disponível em: <https://www.abrapa.com.br/Paginas/Dados/Algod%C3%A3o%20no%20Mundo.aspx>. Acesso em 18 de jun de 2023.
- ALVES, F. A. L.; CAVALCANTE, F. S., OLIVEIRA-JÚNIOR, I. S.; FERRAZ, I.; SIQUEIRA, S. M. Competição de variedades de algodão herbáceo para cultivo no agreste pernambucano. **Pesquisa Agropecuária Pernambucana**, v.24, n.1, p.1-8, 2019. <https://doi.org/10.12661/pap.2019.003>
- BARBOSA, D. D.; FERNANDES, P. D.; MARCELINO, A. D. A. L.; SILVA, F. A.; DIAS, M. S.; SILVA, C. R. C.; SANTOS, R. C. Exogenous pyruvate mitigates the detrimental effects of water stress in contrasting peanut genotypes. **Genetics and Molecular Research**. v.20, n.3, p.1-14, 2021. DOI: <https://doi.org/10.4238/gmr18907>
- BEZERRA, A. M. E.; MEDEIROS FILHO, S.; BRUNO, R. D. L. A.; MOMENTÉ, V. G. Efeito da pré-embebição e aplicação de ácido giberélico na germinação de sementes de macela. **Revista Brasileira de Sementes**, v.28, p.185-190, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0101-31222006000300026>
- CALLEGARI-JACQUES, S. M. **Bioestatística: princípios e aplicações**. Artmed. Porto Alegre, 2003.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, v.37, n.4, p.529-535, 2019. DOI: <https://doi.org/10.28951/rbb.v37i4.450>
- JUNQUEIRA, I.; DEUS, M.; NICCHIO, B.; LANA, R. Ação de biorreguladores na qualidade e fisiologia de sementes e plântulas de girassol. **Pesquisa Agropecuária Pernambucana**, v.22, p.1-5, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.12661/pap.2017.004>
- LABOURIAU, L. G. **A germinação das sementes**. Washington, D. C.: Secretaria Geral da OEA, 1983. 147p.
- MAGUIRE, J. D. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, v.2, n.1, p.176-177, 1962. DOI: <https://doi.org/10.2135/cropsci1962.0011183X000200020033x>
- NOVAIS, R. F.; NEVES J. C. L.; BARROS N. F. **Ensaio em ambiente controlado**. In: OLIVEIRA A. J. Métodos de pesquisa em fertilidade do solo. Brasília: Embrapa-SEA. 1991. p.189-253.
- RABBANI, A. R. C.; SILVA-MANN, R.; FERREIRA, R. A.; VASCONCELOS, M. C. Pré-embebição em sementes de moringa. **Scientia plena**, v.9, n.5, p.1-8, 2013.
- REZENDE, G. F.; MACHADO, B. Q. V.; SÁ JUNIOR, A.; SOUSA, L. B.; LANA, R. M. Q. Efeitos da aplicação de bioestimulantes em sementes de algodão. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 12, n. 1, p. 177-181, 2017. DOI: <https://doi.org/10.18378/rvads.v12i1.4299>
- RIBEIRO, P. R.; WILLEMS, L. A.; MUDDE, E.; FERNANDEZ, L. G.; DE CASTRO, R. D., LIGTERINK, W.; HILHORST, H. W. Metabolite profiling of the oilseed crop *Ricinus communis* during early seed imbibition reveals a specific metabolic signature in response to temperature. **Industrial Crops and Products**, v. 67, p. 305-309, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.01.067>

SÁ, F. V. S.; BRITO, M. E. B.; SILVA, L. A.; MOREIRA, R. C. L.; FERNANDES, P. D.; FIGUEIREDO, L. C. Fisiologia da percepção do estresse salino em híbridos de tangerineira - Sunki Comum sob solução hidropônica salinizada. **Comunicata Scientiae**, v.6, n.4, p.463-470, 2015. DOI: <https://doi.org/10.14295/CS.v6i4.1121>

SANTOS, A. R. F.; SILVA-MANN, R.; FERREIRA, R. A. Water pre-hydration as priming for *Moringa oleifera* Lam. seeds under salt stress. **Tropical and Subtropical Agroecosystems**, v. 14, n.1, p.201-207, 2011.

SHEN, J. L.; LI, C. L.; WANG, M.; HE, L. L.; LIN, M. Y.; CHEN, D. H.; ZHANG, W. Mitochondrial pyruvate carrier 1 mediates abscisic acid-regulated stomatal closure and the drought response by affecting cellular pyruvate content in *Arabidopsis thaliana*. **BMC plant biology**, v.17, n.1, p.217, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12870-017-1175-3>.

SILVA, F. de A. da; DIAS, M. dos S.; FERNANDES, P. D.; LACERDA, C. N. de; SILVA, A. A. R. da; MARCELINO, A. D. A. de L.; LIMA, A. M. de; BARBOSA, D. D. Calcium pyruvate as a salt stress mitigator in yellow passion fruit seedlings. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.26, p.763-770, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v26n11p763-770>

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 858p.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, D.; TEIXEIRA, W.G. **Manual de métodos de análise de solo**. Brasília: Embrapa, 2017. 573p.

VENDRUSCOLO, E. P.; de SOUZA, H. B.; de ARRUDA, L. A.; de LIMA, S. F.; ALVAREZ, R. D. C. F. Biorregulador na germinação e desenvolvimento inicial de algodoeiro. **Revista de Ciências Agroambientais**, v.13, n.2, 2015. DOI: <https://doi.org/10.5327/rcaa.v13i2.1180>

XIAO, S.; LIU, L.; WANG, H.; LI, D.; BAI, Z.; ZHANG, Y.; SUN, H.; ZHANG, K.; LI, C. Exogenous melatonin accelerates seed germination in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). **PloS one**, v.14, n.6, p.1-18, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0216575>

ZONTA, J. H.; BRANDÃO, Z. N.; SOFIATI, V.; BEZERRA, J. R. C.; MEDEIROS, J. C. Irrigation and nitrogen effects on seed cotton yield, water productivity and yield response factor in semi-arid environment. **Australian Journal of Crop Science**, v.10, n.1, p.118-126, 2016.